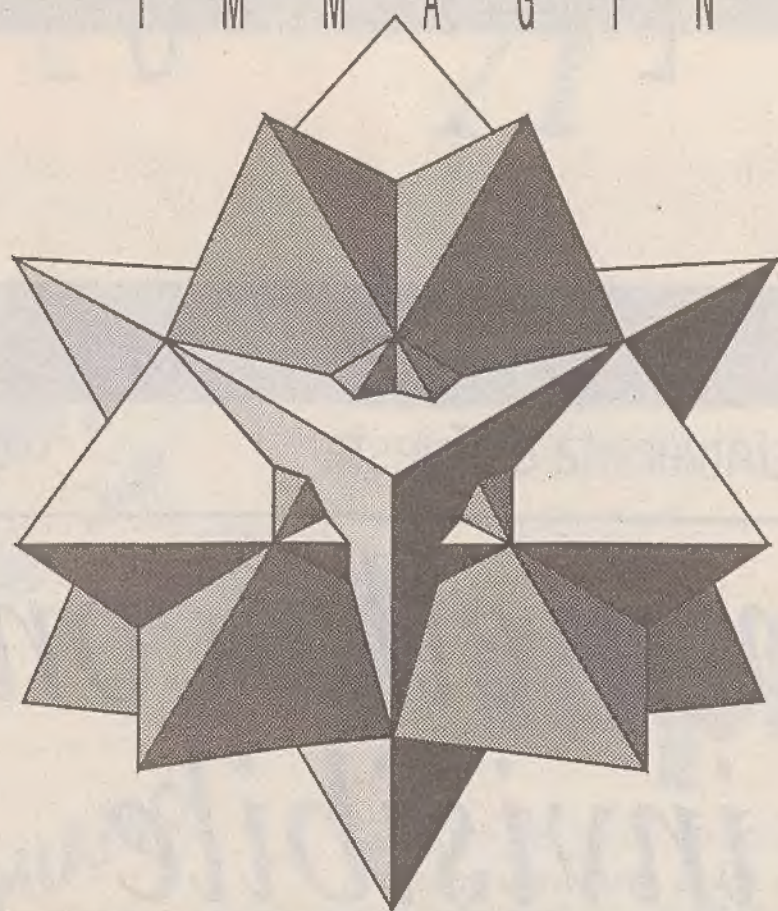
L I S

LABORATORIO DELL'IMMAGINARIO SCIENTIFICO

FEBBRAIO 1995 - N°21

*"Io non so che cosa*
*possa aver pensato*
*di me il mondo, ma per conto mio*
*mi sembra di essere stato*
*come un fanciullo che,*
*giocando sulla riva del mare,*
*si sia divertito a trovare,*
*di quando in quando,*
*un ciottolo più liscio*
*o una conchiglia*
*più bella dell'ordinario,*
*mentre l'immenso oceano*
*della verità stava davanti a me*
*ancora tutto da scoprire".*

*Isaac Newton*

# LA SALUTE DELL'ARIA

L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

## *IL GRIGIO ODORE DEL PROGRESSO*

*A differenza dei rifiuti solidi e liquidi, di cui «L'Immaginario Scientifico Notizie» si è già occupato a più riprese (numeri 13 e 17), le sostanze inquinanti che contaminano l'aria sono continuamente davanti a noi, anzi entrano dentro di noi, fin nel cervello. Mentre la spazzatura si può tentare di nascondere e contenere (o bruciare, trasformandola così in inquinamento atmosferico), da quello che viene liberato nell'aria si può solo cercare di scappare — nelle ore, nei giorni o nelle settimane in cui ci si può allontanare dalla città. Tutto ciò fa dell'inquinamento dell'aria un problema scientifico e sanitario molto più complesso e molto più difficile da sottovalutare di quello dei rifiuti «pesanti».*

*Da un punto di vista scientifico, è certamente molto difficile seguire le sostanze inquinanti nei loro spostamenti orizzontali e verticali e più ancora nelle loro trasformazioni chimiche. Tanto più che tutte queste variazioni sono influenzate dal clima, e a sua volta anche il clima è influenzato da queste variazioni; per cui gli effetti dell'inquinamento sulla qualità dell'aria che respiriamo sono non sempre facilmente prevedibili, e talvolta catastrofici.*

*Da un punto di vista sanitario, nei paesi sviluppati si assiste a una considerevole crescita di malattie croniche del sistema respiratorio. Soprattutto per le malattie lente come il tumore, non è facile dimostrare una correlazione diretta con l'inquinamento atmosferico (dimostrazione che è stata comunque tentata con successo), ma risulta difficile immaginare che non ce ne sia una. In generale, le statistiche sono veramente allarmanti.*

*D'altra parte, però, anche il problema dell'inquinamento atmosferico è da tutti senz'altro sottovalutato. Le patologie causate dalla nostra lunga convivenza con gli inquinanti dell'aria sono verosimilmente solo la parte visibile dell'iceberg. Una buona fetta di salute ci viene tolta senza che, per la gentile forza dell'abitudine, neanche ce ne rendiamo conto.*

*Chi fuma non si accorge più dell'odore della nicotina. Se siamo in alta montagna, riusciamo a percepire anche un solo motore acceso, ma una volta di nuovo in città a mala pena facciamo caso al fiume di macchine di cui siamo tornati a far parte. Eppure, sia la nicotina sia ciò che esce dai fumi di scappamento sono sostanze che ci arrivano fino al sangue.*

*Quello che vale per gli odori, dato che i gas filtrano la luce, in una certa misura vale anche per i colori. È in atto una specie di oscuramento generale, di fronte al quale facciamo tutti un po' finta di niente. È come rassegnarsi ad assistere a un concerto con un sacco di gente che chiacchiera; siamo rassegnati al punto da chiacchierare noi stessi. Qualcuno ci deve aver gettato del fumo negli occhi.*

**IVO ALLEGRINI**

Direttore dell'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del CNR di Monterotondo Stazione, Roma

# *NOZZE CHIMICHE NELL'ARIA*

***Sapere cosa succede nell'aria sembra un'impresa facile solo al profano. La scienza ha bisogno di misure che si riferiscono a una realtà il più possibile stabile e fissa, mentre l'atmosfera è per eccellenza il luogo della libertà (si dice appunto "libero come il vento"). In Italia, uno degli organismi coinvolti in questa difficile impresa è l'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del CNR, un'organo di ricerca fondato nel 1968 che studia i problemi tecnici, scientifici e metodologici dell'acquisizione e dell'interpretazione dei dati sull'atmosfera. Per sapere come si studiano questi problemi, ci siamo rivolti a Ivo Allegrini, Direttore dell'Istituto.***

**Si può dare una descrizione attendibile dei fenomeni legati all'inquinamento atmosferico, così variabili nello spazio e nel tempo?**

In realtà noi non ci proponiamo di fornire una descrizione o un modello di quello che avviene nella realtà atmosferica momento per momento. Seguiamo piuttosto l'approccio inverso. Sulla base dei dati raccolti nelle varie precedenti campagne, elaboriamo delle teorie e ci poniamo dei quesiti scientifici. La conoscenza dei fenomeni variabili dell'atmosfera è senz'altro necessaria all'elaborazione delle teorie e alla giusta soluzione dei nostri problemi scientifici, ma non è lo scopo del nostro lavoro. Ne costituisce solo lo sfondo.

**Che teorie sono state elaborate e che tipo di problemi scientifici avete studiato in particolare? Può fare un esempio?**

Una delle sostanze più insidiosamente tossiche che sono presenti nell'atmosfera inquinata è il biossido di azoto ($NO_2$). Questa sostanza non è emessa direttamente da nessuna fonte inquinante, ma si produce nell'atmosfera per l'ossidazione dell'ossido di azoto (NO, prodotto dalla combustione di sostanze organiche), che di per sé non sarebbe tossico. Nell'aria l'ossidazione di NO a $NO_2$ è una reazione abbastanza lenta. Quindi, se ci troviamo di fronte ad alte concentrazioni di questa sostanza, devono essere presenti nell'atmosfera delle grandi quantità di qualche sostanza ossidante che renda conto di queste alte concentrazioni. Di solito questa sostanza è l'ozono ($O_3$), che, difatti, sappiamo, in atmosfera si comporta come un potente ossidante. Ora, si dà il caso, però, che la concentrazione di biossido di azoto sia talvolta elevata anche in presenza di forti *inversioni termiche* notturne, quando la concentrazione di ozono è praticamente nulla, perché non c'è scambio con gli strati d'aria di alta quota, da dove l'ozono proviene. (Si chiama *inversione termica* l'inversione del gradiente della temperatura dell'aria, che normalmente scende progressivamente man mano che ci si allontana dal suolo, ma che a certe quote può anche risalire, formando una calotta che intrappola l'aria fredda sottostante). L'ipotesi che abbiamo formulato è che responsabili di questa ossidazione relativamente rapida siano alcuni radicali. Cerchiamo di scoprire non solo la presenza di questi radicali, ma anche di individuare la loro presumibile fonte.

**Si tratta quindi fondamentalmente di ricerche di chimica...**

Non solo chimica, ma anche fisica. Le concentrazioni delle sostanze possono variare difatti non solo a causa di reazioni chimiche, ma anche e soprattutto, a causa degli spostamenti delle masse d'aria; e questi sono fenomeni fisici, meteorologici, grossomodo indipendenti dalla natura chimica delle sostanze. Non si può pensare di studiare l'inquinamento atmosferico senza conoscere la meteorologia. Anzi, il nostro sforzo è proprio quello di tenere contemporaneamente presenti l'aspetto chimico e quello meteorologico.

**Esistono particolari fenomeni meteorologici che sono pertinenti al problema dell'inquinamento atmosferico e che non sono stati ancora ben studiati?**

Effettivamente, come accade in genere per la ricerca scientifica, la ricerca meteorologica in Italia è un po' al traino di quella svolta negli USA e nei paesi dell'Europa settentrionale, mentre i fenomeni meteorologici dalle nostre parti sono abbastanza diversi. Il nostro sistema meteorologico è caratterizzato da una forte alternanza tra una moderata instabilità diurna e una forte stabilità notturna. Questo sistema, che dà luogo a forti inversioni termiche, è ancora decisamente poco studiato.

**Rispetto all'inquinamento, che azione svolgono gli agenti atmosferici? Il vento, per esempio, pulisce davvero disperdendo gli inquinanti, o può anche sollevare e addurre sostanze nocive?**

L'effetto meccanico del sollevamento e del trasporto di sostanze nocive da parte del vento qui da noi non è sostanzialmente un effetto importante per l'ambiente. Si tratta di piccole quantità di materiale che possono essere nocive solo in certi particolari casi, e cioè nei casi in cui queste sostanze (come il mercurio, il piombo, i radionuclidi, ...) sono capaci di persistere in un dato ecosistema perché si accumulano negli organismi ed entrano nella catena alimentare. In genere quindi il vento contribuisce effettivamente a pulire l'atmosfera. Può contribuire, è vero, a modificare sfavorevolmente l'areale di diffusione di certe

*Continua a pagina 4*

### IN QUESTO NUMERO

Per approfondire il problema della salute dell'aria, soprattutto nelle città, un numero sull'inquinamento atmosferico.



**RENZO TOMATIS**

ex direttore dell'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro, Lione

# Il vizio di respirare

***Nei paesi sviluppati, in questi ultimi decenni è diminuita la mortalità dovuta a malattie polmonari acute, è molto cresciuta invece l'incidenza di patologie polmonari croniche, tra cui l'asma e il tumore. Abbiamo parlato di questo problema con Renzo Tomatis, fino all'anno scorso Direttore dell'IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro). Tomatis, di passaggio a Trieste, ha accettato di rispondere alle nostre domande senza avere sottomano la documentazione scientifica e le cifre.***

**Come si stabilisce e come si misura la cancerogenicità per l'uomo delle sostanze contenute nell'aria inquinata?**

Nell'aria che respiriamo ci sono sostanze che sono state riconosciute come cancerogene. Queste sostanze – credo lo sappiano un po' tutti – sono, principalmente, il benzene e gli idrocarburi policiclici, le sostanze nitrosanti(ossidi di azoto e derivati), l'amianto, certi metalli e il materiale radioattivo. Il problema è quantificare il rischio che deriva all'uomo dall'esposizione a queste sostanze che si trovano nell'aria in piccole quantità. Il problema delle piccole dosi è un problema generale dell'epidemiologia, particolarmente difficile da risolvere per il tumore, che è una malattia cronica degenerativa che impiega venti o trent'anni a maturare. In questi ultimi decenni l'atteggiamento dei ricercatori sul cancro è stato caratterizzato da una certa schizofrenia. Da una parte, aderiamo tutti all'idea che il tumore sia una malattia che ha bisogno di tanti fattori che agiscono insieme o in sequenza, fino a raggiungere un *point of no return.* D'altro canto, la valutazione dei rischi viene fatta generalmente su una sostanza alla volta, ma per verificare e quantificare il rischio di tumore correlato all'esposizione a una sola sostanza, bisogna che l'esposizione sia molto alta e che abbia una preponderanza assoluta su tutto il resto.

**Forse per questo ci si è concentrati sullo studio degli effetti del fumo...**

Un esempio che può illustrare queste difficoltà e l'incoerenza dell'atteggiamento dei ricercatori è effettivamente quello del fumo. Tutti sono d'accordo sul fatto che il fumo di tabacco è cancerogeno. È comunemente accettato (salvo che dagli scienziati finanziati dalle multinazionali del tabacco) che è cancerogeno anche il fumo passivo, cioè l'inalazione del fumo degli altri. Ora, il fumo passivo è in principio qualcosa di non molto diverso dall'inalazione di aria inquinata. È difficile capire, perciò, come mai si tenda a passare sotto silenzio il rischio dovuto all'inquinamento atmosferico. Eppure, molti scienziati hanno temuto che qualunque accenno sostanziale al rischio di tumore da esposizione all'inquinamento atmosferico potesse in qualche modo venire a indebolire la lotta contro il fumo, e oggi i maggiori epidemiologi del mondo si battono contro qualsiasi idea che anche lontanamente minacci la priorità del tabacco. Questo è dovuto almeno in parte al rigore pragmatico degli epidemiologi anglosassoni e al giusto principio *first things first* (cioè «prima le cose più importanti»). La lotta contro il fumo ha avuto effettivamente una grande importanza e un grande successo. In Inghilterra, l'incidenza di tumore polmonare, che era una delle più alte nel mondo, ora è scesa drasticamente. Assieme alla campagna anti-tabacco, però, c'è stata negli stessi primi anni cinquanta anche la messa in atto del *Clean Air Act* (una legge introdotta in seguito all'episodio del «fumo di Londra», del 1952, in cui l'inquinamento uccise migliaia di persone in pochi giorni). È difficile, retrospettivamente, dissociare le due cose.

Quindi, il tabacco è certamente la causa più importante, ma come il fumo del tabacco è una miscela complessa che contiene molte sostanze cancerogene, così lo è certamente, seppure con concentrazioni molto più basse, pure l'aria che respirano i non fumatori; e anche se è giusto e necessario concentrarsi sulla lotta contro il tabacco, non bisogna per questo dimenticarsi dell'inquinamento atmosferico, al quale sono esposti tutti, dalla nascita alla morte. La prima infanzia e la vecchiaia, per diverse ragioni, sono le età più fragili. Il valore della protezione nei riguardi dell'inquinamento atmosferico quindi è sicuramente molto alto. La maggior parte della popolazione mondiale, poi, vivrà in città, l'urbanizzazione è un fenomeno generale. Basta andare nel Terzo mondo per vedere che pazzesco grado di inquinamento stanno raggiungendo le metropoli. È difficile sottrarsi all'idea che a lungo andare tutto ciò avrà un effetto in termini di un aumento di tumori nel mondo. Quello che insegna l'epidemiologia è che c'è un gap di decenni prima che gli effetti si materializzino macro-

*Continua a pagina 4*

Particelle varie: le particelle tonde omogenee provengono da inceneritori o forni industriali, quelle bollose cave da impianti di combustione (2000 ingrandimenti).

Particolare di una sfera cava spaccata: si nota la ricchezza di superfici interne e di cavità. I cristalli allungati sono solfati di calcio, cioè gesso (1888 ingrandimenti).

Aggregati di particelle semifuse (vetri), silicati di calcio, piombo e ferro (2000 ingrandimenti).

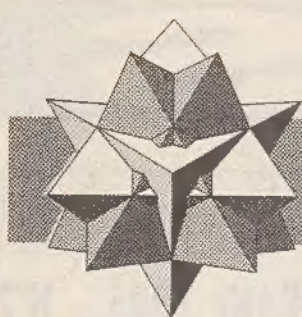
Cristalli di sali di piombo di neoformazione, di lunghezza 12 µm (5000 ingrandimenti).

*Le fotografie di questa pagina sono state realizzate da Paolo Plescia dell'ITM del CNR di Roma, a partire da campioni di polveri urbane aerodisperse nella città di Roma, osservati con un microscopio elettronico a scansione.*

### CONVEGNO DELLA SETTIMANA

## "La salute dell'aria"

Durante la Settimana della Cultura Scientifica (3-8 aprile prossimi), fra tutte le iniziative previste, il Laboratorio dell'Immaginario Scientifico organizza un convegno *Natura chiama scuola.* Una parte di questo convegno sarà dedicata al tema dell'inquinamento dell'aria, che sarà anche trattato in un incontro pubblico, in collaborazione con la Provincia di Trieste.

Questo numero è stato realizzato con il contributo di:

### Piombo nell'Artico

Le minuscole particelle di piombo che si liberano durante molti processi industriali viaggiano nell'atmosfera e arrivano anche lontano dal luogo di produzione. Un gruppo di ricercatori francesi ha scoperto che sulla Groenlandia sono depositate circa 400 tonnellate di piombo provenienti dalle attività umane degli ultimi otto secoli. Sembra già molto, ma questa quantità rappresenta solo il 15% del piombo prodotto durante gli ultimi 60 anni.
«La Recherche», n. 271, dicembre 1994, p. 1230

### Un ospite indesiderato

È stato accertato che nell'aria di una considerevole percentuale delle abitazioni statunitensi è presente una concentrazione pericolosa di radon. Il radon è un gas prodotto naturalmente dal decadimento dell'uranio, molto pericoloso perché può provocare il tumore ai polmoni. La Environmental Protection Agency raccomanda un controllo di tutte le abitazioni e, dove necessario, una ristrutturazione per ridurre il livello di radon sotto un certo livello di sicurezza.
«Scientific American», agosto 1994, p.14

### Buco dell'ozono e clima

Secondo una recente ricerca, il progressivo allargarsi del buco dell'ozono negli strati alti dell'atmosfera, oltre alla già nota diminuzione della protezione dai raggi ultravioletti, sembra favorire la formazione di nubi di solfati. Queste a loro volta inducono altri effetti negativi dato che riflettono un frazione considerevole della radiazione solare, e riducono così il riscaldamento degli strati bassi dell'atmosfera. È la prima volta che si collega la diminuzione dell'ozono con i cambiamenti globali del clima del pianeta.
«Nature», vol. 372, 24 novembre 1994, p. 322

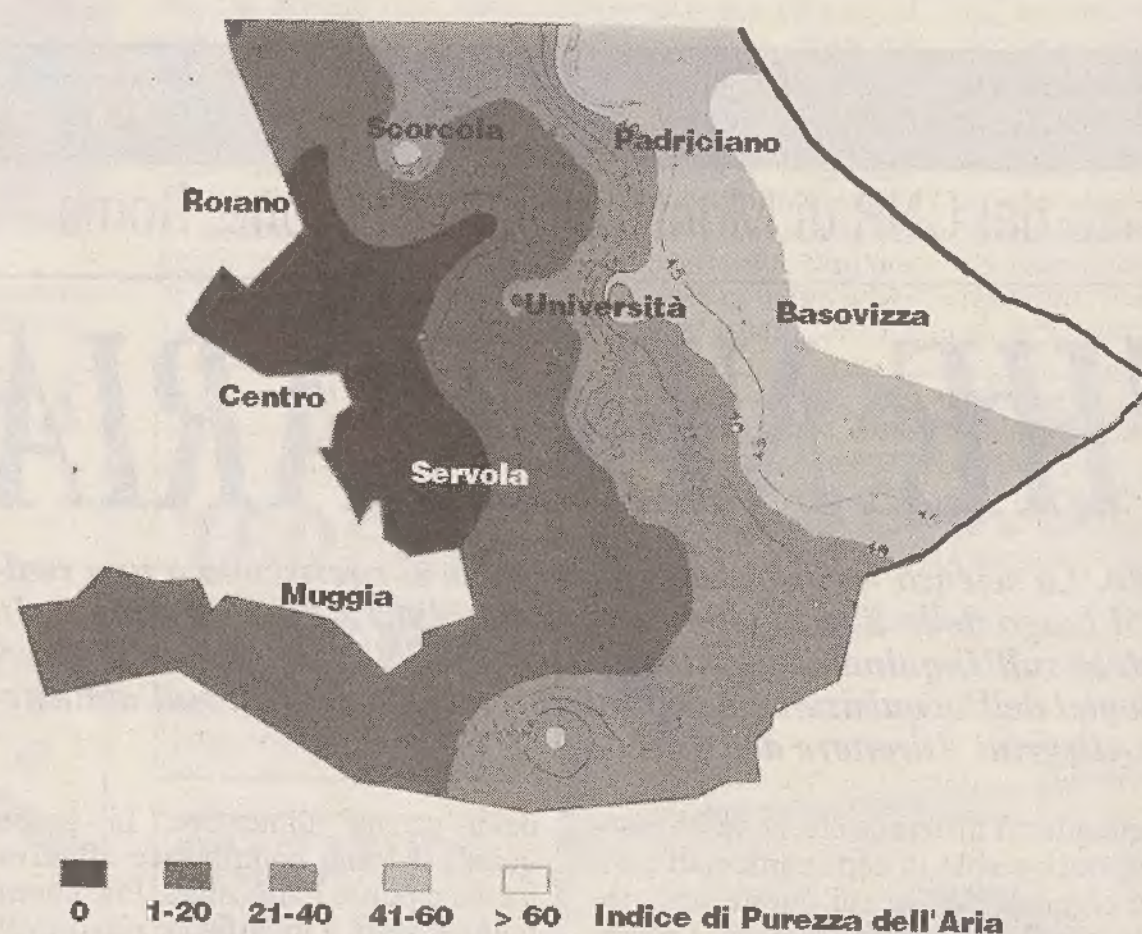
### Aghi come sonde

Un gruppo di ricercatori svedesi ha messo a punto un metodo per tenere sotto controllo l'inquinamento di tutta Europa utilizzando gli aghi delle conifere. Questi, infatti, accumulano i pesticidi che contengono cloro e il bifenile policlorurato usato come isolante nelle apparecchiature elettriche. Il fatto che queste sostanze si trovino anche molto lontano dalla sorgente di inquinamento è un ulteriore conferma del fatto che possono viaggiare nell'aria per lunghi tratti.
«New Scientist», 24-31 dicembre 1994, p. 14


**PIER LUIGI NIMIS**

Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste


# Licheni sentinelle contro un nemico invisibile

***Moltiplicare il numero delle centraline non è in sé sufficiente per migliorare la nostra conoscenza della situazione dell'ambiente, né tanto meno per conoscere l'entità del rischio per la salute che questa situazione comporta. Una delle metodologie di indagine che vanno affiancate al monitoraggio chimico fisico è quella che utilizza i licheni come bioindicatori della purezza dell'aria e bioaccumulatori di sostanze inquinanti. I risultati delle ricerche condotti con questa tecnica convergono con quelli ottenuti da indagini statistiche mediche.***

**Carta della qualità dell'aria della città di Trieste ottenuta utilizzando i licheni come bioindicatori di inquinanti gassosi. I numeri nella legenda si riferiscono all'Indice di purezza dell'aria.**

L'inquinamento è definito in termini di concentrazioni nell'ambiente di sostanze xenobiotiche (cioè estranee alla vita). Livelli soglia sono stabiliti per legge secondo criteri che variano da paese a paese. Normalmente, il criterio più utilizzato è il danno alla salute umana. Una stima corretta dell'inquinamento su vaste aree è difficile, per i seguenti motivi principali:

- I livelli soglia sono espressi come concentrazioni reali nell'ambiente, il che richiede una sorveglianza continua con strumenti specializzati (monitoraggio con centraline).
- Le concentrazioni degli inquinanti sono molto variabili nel tempo e nello spazio. Un piano di monitoraggio corretto dovrebbe essere svolto su base statistica, con un'alta densità di punti di misura nel tempo e nello spazio.
- Gli elevati costi della strumentazione limitano notevolmente il numero dei punti di misura, per cui i dati delle reti strumentali spesso hanno scarso significato statistico, nonostante la precisione di ogni singola misura.
- Gli effetti sinergici di più inquinanti sulla salute umana non sono solitamente considerati nello stabilire i livelli di soglia.

L'uso di organismi viventi — piante superiori, funghi, muschi, licheni, macroinvertebrati ecc. — come indicatori può essere un valido strumento per ottenere importanti informazioni sull'inquinamento.Tale approccio può mostrare sia gli effetti sinergici di diversi inquinanti su esseri viventi, sia le concentrazioni medie di inquinanti su vaste aree. I vantaggi stanno nella capacità che hanno alcuni organismi di fungere da «integratori» dei dati, e sui bassi costi della metodica. Questi organismi possono essere usati come *bioindicatori* della qualità dell'aria, oppure in certi casi come *bioaccumulatori* di sostanze presenti nell'aria. Si utilizza il termine *bioindicatore* quando i *pattern* di deposizione degli inquinanti vengono ricostruiti a partire dai loro effetti su quel determinato tipo di organismo (vita/morte, malattie), mentre si usa il termine bioaccumulatore quando i dati di base sono le concentrazioni di inquinante misurate nell'organismo (che deve perciò essere capace di accumulare la sostanza senza morire).

Un limite delle tecniche di biomonitoraggio deriva dal fatto che gli organismi sono influenzati da molteplici parametri ambientali, e che l'inquinamento è soltanto uno di questi, il che rende spesso problematica la standardizzazione delle procedure di campionamento. È inoltre difficile individuare organismi che presentino una risposta di tipo lineare a concentrazioni crescenti di un singolo inquinante. Un vantaggio è dato dai costi relativamente bassi, il che permette un campionamento con alta densità spaziale di misura, che aumenta la qualità dei dati. L'errore intrinseco alla variabilità del dato biologico è dunque compensato dall'alta densità di punti di rilevamento. A ogni modo il biomonitoraggio non va considerato come alternativo, ma anzi come complementare al monitoraggio strumentale. Uno dei problemi principali di quest'ultimo, difatti, è l'ottimizzazione della dislocazione spaziale delle centraline. Uno studio di biomonitoraggio preliminare può individuare rapidamente e a costi moderati delle «aree a rischio» in cui posizionare gli strumenti. Un approccio integrato, dove bioindicatori, bioaccumulatori e centraline vengono usati congiuntamente sembra essere la soluzione più razionale al problema del monitoraggio dell'inquinamento dell'aria (e anche delle acque).

In Italia, tecniche di biomonitoraggio basate su diversi organismi vengono adottate con sempre maggior frequenza, e con risultati molto soddisfacenti. Il Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste ha dato un contributo non indifferente alla diffusione in Italia e all'estero di tecniche di biomonitoraggio per l'inquinamento atmosferico basate sull'impiego di licheni (organismi che, per il fatto di essere una simbiosi tra un'alga e un fungo, oltre a essere capaci di vivere in condizioni climatiche estreme, sono molto sensibili all'inquinamento atmosferico).

Non va dimenticato che lo scopo primario degli studi sull'inquinamento ambientale dovrebbe essere la salvaguardia della salute umana. Uno dei risultati più interessanti ottenuti negli ultimi anni dall'équipe di ricerca da me diretta riguarda proprio la possibilità di utilizzare tecniche di biomonitoraggio per evidenziare non tanto l'inquinamento quanto i suoi possibili effetti sulla salute. Nel 1991 è stata pubblicata la carta della qualità dell'aria dell'intera regione del Veneto, ottenuta sulla base di più di 600 stazioni in cui sono stati utilizzati licheni epifiti come bioindicatori. Tale carta evidenzia chiaramente i principali flussi di anidride solforosa dalle fonti principali (Mestre, Padova, Verona ecc.) in diverse direzioni corrispondenti ai venti dominanti, e si è rivelata in ottimo accordo con dati strumentali ottenuti dal Dipartimento Ambiente della Regione. La novità interessante deriva dalla comparazione della carta ottenuta tramite licheni con una carta del rischio di mortalità per tumore polmonare elaborata dall'Istituto di Statistica Medica dell'Università di Milano, a cura del professor C. Cislaghi. Le due carte, ottenute con metodi diversi, ma entrambe basate su una notevole mole di dati, mostrano una coincidenza impressionante, e una correlazione statistica altamente significativa. L'anidride solforosa non è di per sé una causa primaria di cancro al polmone, tuttavia funge da tracciante della dispersione in atmosfera di numerosi inquinanti in forma gassosa o di particolato fine. Risultati analoghi sono stati ottenuti in uno studio svolto a La Spezia. Un'area periferica della città mostrava concentrazioni anormalmente alte di piombo in talli lichenici; un successivo studio svolto dal dottor Palmieri, della locale USL, ha dimostrato un tasso di piombo nel sangue significativamente maggiore negli abitanti di quell'area.

Risultati del genere suggeriscono di approfondire le ricerche in più stretta collaborazione con i colleghi medico-igienisti, e aprono nuove prospettive nell'utilizzo delle tecniche di biomonitoraggio; dal monitoraggio dell'inquinamento al monitoraggio del rischio ambientale.

## la scienza da sfogliare

Riguardo al problema dell'inquinamento atmosferico, tra i testi di ecologia generale, segnaliamo anzitutto un'utile opera di consultazione: Massimo Floccia, Giuseppe Gisotti, Mauro Sanna, *Dizionario dell'inquinamento. Cause, effetti, rimedi, normativa*, La Nuova Italia Scientifica, Roma 1985.

Altre opere a carattere introduttivo sono:
Piero Angela, Lorenzo Pinna, *Atmosfera: istruzioni per l'uso*, Mondadori, Milano 1990; Piero Bianucci, *Acqua, aria... terra*, Mondadori, Milano 1986; Gianfranco Bologna, *Pianeta Terra*, Giorgio Mondadori, Milano 1990; A. Cornwell, *L'ambiente e l'uomo. La gestione dell'ecosistema*, Ulisse, Torino 1989; E. Dall'Oro, *Energia non inquinante*, Atlas, Bergamo 1979; Jean Dorst, *Noi e l'ambiente*, a cura della Lega Ambiente, Thema, Bologna 1989; Robert Ricklefs, *Ecologia*, Zanichelli, Bologna 1993; Tim Shreeve, *L'ecologia*, Edizioni Paoline, Torino 1987; Renato Vismara, *Ecologia applicata*, Hoepli, Milano 1988.

Per i più giovani un primo libro sull'aria, bene comune e prezioso è Lynne Patchett, *Aria*, collana "Obiettivo ambiente", Editoriale Scienza, Trieste 1991.

Letture di carattere più tecnico sono:
Giovanna Finzi e Giuseppe Brusasca, *La qualità dell'aria. Modelli previsionali e gestionali*, Masson, Milano 1991; Office fédéral de l'environnement des forets et du paysage, *Risques cancérigènes des gaz d'échappement des moteurs diesel et des moteurs à essence*, in "Les Cahiers de l'environnement", 222, Bern 1993; Società Chimica Italiana, *La chimica nell'atmosfera*, atti del convegno tenutosi a Firenze il 24-26 febbraio 1994, supplemento a "Notizie. Area della Ricerca", n. 1 anno III; P. Zannetti, *Air pollution modeling. Theories, computational methods and available software*, Computational Mechanics Publications, Southampton 1990.

Sui problemi delle emissioni di idrocarburi, che interessano anche le nuove "benzine verdi", si vedano: Vito Foà, *Per il benzene è allarme rosso*, in "L'Impresa ambiente", n. 8/1994, pp. 6-11; Giuliano Salvi, *Nuovi carburanti per motori puliti*, in "L'Impresa ambiente", n. 8/1994, pp. 12-23.

# LA PUZ

La salute dell'aria è, o dovrebbe essere, una delle preoccupazioni principali delle amministrazioni pubbliche. Certo la gente si abitua a tutto, chi di noi si ricorda ancora cosa vuol dire una città con aria respirabile? Il cielo azzurro e la visione delle montagne in lontananza — un fatto normale fino a non molti anni fa — sono ormai un evento rarissimo, che diventa argomento di conversazione. Tra non molto, forse, anche l'aria, come già l'acqua potabile, sarà un bene prezioso e ci sarà un canone mensile da pagare. Per ora ci accontentiamo di adattare i nostri livelli di sopportazione alle peggiorate condizioni dell'aria quotidiana, in cui fumi, gas e polveri sono un ingrediente fondamentale. Anche la legge spesso adotta la stessa tattica: alzare i livelli di soglia quando il peggioramento della situazione rende difficile il rispetto dei limiti precedenti.

L'attuale legislazione (con il decreto p.r. 203/88), al fine di controllare il livello di inquinamento atmosferico, stabilire i valori guida di qualità dell'aria, tutelare la salute dei cittadini e l'ambiente, affida, tra l'altro, alle Province il compito di redigere un inventario di tutte le emissioni atmosferiche, in base ai criteri individuati dalle autorità statali competenti e alle indicazioni delle Regioni, che a loro volta sono incaricate di preparare dei piani di risanamento dell'aria (decreto p.c.m. del 1983). Nel 1991 sono stati previsti i Centri Operativi Provinciali con il compito di coordinare la attività di rilevamento delle reti pubbliche e private e, in base ai dati ottenuti, devono individuare dei provvedimenti e tenere informati i sindaci delle città. Questi, infine, come responsabili della salute in ambito urbano e avendo il potere di ordinanza, possono prendere delle decisioni che riguardano la chiusura al traffico di zone cittadine particolarmente inquinate, regolamentare le ore di riscaldamento delle abitazioni ecc. A livello regionale, i Centri Operativi Regionali coordinano i Centri Operativi Provinciali, e rendono conto ai ministeri dell'Ambiente e della Sanità. La legislazione — i decreti del 1983 e i successivi, fino al più recente del novembre 1994 (nota bene: tutti i provvedimenti attualmente in vigore sono in realtà solo decreti) — stabilisce le sostanze pericolose da tenere sotto controllo e i livelli di attenzione e di allarme; attualmente queste sostanze sono biossido di zolfo ($SO_2$), ossidi di azoto ($NO_X$), monossido di carbonio (CO), ozono ($O_3$), la frazione respirabile di particelle sospese; dal 1996 entreranno in vigore dei valori guida per il benzene e, dal 1999, anche per gli idrocarburi policiclici. La legge fornisce inoltre indicazioni per la concessione di autorizzazioni a nuovi impianti industriali e le modalità di controllo e descrive i metodi di prelievo e di analisi che le reti di rilevamento devono usare, e prevede l'individuazione di potenziali situazioni di emergenza prima che si raggiungano le soglie di attenzione.

Sulla situazione dell'aria nella città di Trieste l'Unità Sanitaria Locale, attraverso la centrale fissa in piazza Goldoni, insieme ai parametri meteorologici necessari, registra in continuo le medie orarie delle concentrazioni nell'aria delle sostanze previste dalla legge. In particolare, riguardo al monossido di carbonio, è stato ef-

**OSSIDO DI CARBONIO**
**Giornata media**

μg/mc (0–14) — Ora (1–23)

V.le XX Settembre — Piazza Goldoni — Piazza Garibaldi

Dal 13.02.93 al 10.03.93

**Andamento della concentrazione di ossido di carbonio nelle tre stazioni di viale XX Settembre, piazza Goldoni e piazza Garibaldi, nel periodo 13 febbraio-10 marzo 1993.**

[ef]fettuato uno studio nel periodo invernale 1992-93, rilevando le concentrazioni in alcuni siti critici con tutti gli strumenti a disposizione: la centralina fissa in piazza Goldoni, e delle due mobili una stabilmente in piazza Garibaldi e l'altra via via spostata in piazza Dalmazia, corso Cavour, via San Giacomo in Monte, viale XX Settembre angolo via Rossetti, via Giulia in corrispondenza del centro commerciale. I risultati (vedi grafico) mostrano che la situazione è in generale non buona con delle impennate nelle ore di punta. Nel periodo esaminato (ottobre 1992-aprile 1993) si sono verificati in totale ben 79 superamenti del limite di 10 milligrammi per metro cubo in almeno uno dei siti.

Per il futuro la Provincia, l'Università e l'ACT hanno un progetto sperimentale per controllare come variano i livelli dell'ossido di carbonio nelle diverse zone della città e nelle diverse ore del giorno. Sistemando dei rilevatori a bordo di dieci autobus di linea, che saranno anche dotati di GPS (uno strumento che è collegato a un sistema di satelliti e permette di registrare la posizione in ogni istante) sarà possibile correlare i dati relativi alla concentrazione di monossido di carbonio al tempo e al luogo della loro misura. Si potrà così seguire la situazione in modo continuo e distribuito su tutto il territorio.

Oltre al monossido di carbonio, che si concentra vicino al flusso del traffico, ci sono altre sostanze (come gli ossidi di azoto e il biossido di zolfo) che si diffondono anche a maggiori distanze. Per avere un'idea della qualità dell'aria nelle diverse zone della città e della provincia occorrebbero quindi molti più punti di rilevamento e per un maggior numero di sostanze. Infatti, come con la temperatura non è sufficiente conoscere le massime, così per l'inquinamento atmosferico bisogna tener sotto controllo anche i valori di fondo, dato che questi stanno pericolosamente aumentando.

Un metodo economico ed efficiente per conoscere con buona approssimazione la qualità dell'aria è quello del biomonitoraggio con i licheni epifiti (vedi qui accanto l'articolo di Pier Luigi Nimis). Il Dipartimento di Biologia di Trieste, Sezione di Geobotanica, per conto della Provincia, ha recentemente effettuato uno studio sulla qualità dell'aria utilizzando i licheni come bioindicatori e come bioaccumulatori. Il risultato è illustrato nella figura a lato, e dimostra come in buona parte della città e in alcuni centri della provincia si sia ormai prodotto il cosiddetto *deserto lichenico*, indice di una pessima qualità dell'aria.

Nella provincia di Gorizia i punti di rilevamento sono più numerosi, anche perché a Monfalcone l'ENEL, in seguito alla costruzione della centrale a carbone, ha predisposto una rete di centraline fisse. La provincia ha affidato al Centro di Ecologia Teorica e Applicata il compito di sorvegliare la situazione nel resto del territorio. Comune a tutte le amministrazioni è il problema di rendere i dati omogenei. Anche a questo scopo è stato messo a punto un programma interregionale tra la Provincia di Gorizia e la Slovenia. Nella fase attuale due centraline, una italiana e una slovena, sono state affiancate nello stesso punto, a una decina di chilometri fuori Nova Gorica, in modo da tarare e calibrare gli strumenti.

Qualsiasi intervento pubblico, sia di sorveglianza sia di risanamento, non può essere di nessuna utilità se da parte della cittadinanza non c'è una sufficiente presa di coscienza della gravità del problema. Occorre valutare se veramente conviene rinunciare alla salute in favore delle nostre presunte comodità. Di fronte a una maggiore sensibilità le amministrazioni saranno più libere di agire a tutela della salute secondo le informazioni e le indicazioni ricevute.

NON ESAGERIAMO CON IL RISCALDAMENTO

NON FUMIAMO

MANTENIAMO EFFICIENTI LE CALDAIE

## 1 Sorgenti dell'inquinamento atmosferico

C'è qualcosa nell'aria: qualcosa che non ci piace, che ci fa ammalare o che, addirittura, ci danneggia. È l'inquinamento. Più o meno questa è, in effetti, la definizione di inquinamento atmosferico fornita dalla legge. Dunque è pacifico che l'inquinamento esiste. Nell'aria che respiriamo in città, oltre alle normali quantità di azoto (78%), ossigeno (21%), argo e gas rari (1%), troviamo molte altre sostanze (vedi la scheda, **Sostanze inquinanti**). Ma chi ce le ha messe?

Tra le principali e più diffuse fonti di inquinamento atmosferico vi sono le attività industriali, il traffico autoveicolare e gli impianti di riscaldamento. Predominano dunque i processi di combustione, che sono tanto più inquinanti quanto più danno luogo a una combustione incompleta; nel complesso si calcola che questi processi siano responsabili del 75-80% degli inquinamenti atmosferici prodotti dall'uomo.

Fonti diverse producono sostanze diverse o in diverse proporzioni (le centrali elettriche alimentate a carbone o a oli combustibili producono molto biossido di zolfo, mentre le automobili producono molti ossidi di azoto); le fonti poi possono essere fisse (industrie, impianti di riscaldamento) oppure mobili (autoveicoli), avere una distribuzione puntiforme o continua, emettere a quote più o meno elevate. Sulla base di tutti questi elementi (oltre che delle condizioni meteorologiche) si può poi cercare di valutare e prevedere l'inquinamento riscontrabile in una certa zona.

**TIZIANO TIRABASSI**

Istituto di Fisica della bassa atmosfera del CNR Bologna

# I capricci dello smog

***La fisica dei bassi strati dell'atmosfera è estremamente complessa. Prevedere la dispersione degli inquinanti nell'aria della città richiede modelli matematici che tengano conto di molti fattori, spesso dipendenti l'uno dall'altro.***

Le principali sorgenti inquinanti che contribuiscono al deterioramento della qualità dell'aria nelle aree urbane sono il traffico autoveicolare, gli impianti di riscaldamento (nella stagione fredda) e, se presenti, le emissioni industriali e quelle provenienti dalle centrali di produzione di energia e dagli inceneritori di rifiuti. Condizioni meteorologiche avverse alle dispersione degli inquinanti contribuiscono, inoltre, al generale degrado della qualità dell'aria e possono dare luogo a episodi particolarmente acuti di inquinamento atmosferico.

I maggiori centri urbani pertanto risentono di un malessere diffuso e crescente per il quale non sono ancora stati adottati quei rimedi capaci di ridurre efficacemente e con costi contenuti gli attuali livelli di inquinamento atmosferico. Il traffico autoveicolare, in particolare, è responsabile della quasi totalità delle emissioni di monossido di carbonio e di gran parte degli ossidi di azoto, dei composti organici volatili, escluso il metano e, spesso, delle particelle sospese.

Il controllo e la gestione dell'inquinamento urbano vengono effettuati utilizzando due strumenti: la rete di rilevamento della qualità dell'aria e i modelli matematici di diffusione degli inquinanti. La prima è costituita da un insieme di sensori che permettono di misurare in punti fissi la concentrazione di alcuni inquinanti e i parametri meteorologici che governano la diffusione e il trasporto di gas e particelle in atmosfera. Generalmente i sensori sono collegati a un computer centrale che gestisce tutta la rete. I modelli servono per calcolare la concentrazione degli inquinanti, dove essa non è misurata dalla rete, o per valutare gli effetti di interventi sul territorio, come l'installazione di nuove sorgenti inquinanti, la realizzaizone di un'isola pedonale, la ridistribuzione del flusso del traffico autoveicolare.

I modelli da utilizzare saranno diversi a seconda che siano utilizzati per la riduzione su medio e lungo periodo dei livelli di inquinamento e per la pianificazione e stima dell'efficacia dei provvedimenti o per la previsione, su breve periodo e con un certo anticipo, del verificarsi di episodi acuti d'inquinamento, al fine di limitare l'esposizione della popolazione attraverso l'attuazione di appropriati provvedimenti a carattere contingente (ad esempio chiusura limitata nel tempo del centro urbano al traffico).

Per la gestione del territorio in generale, e in particolare per l'utilizzo dei modelli, occorre stimare la distribuzione spaziale e le variazioni temporali delle sorgenti inquinanti. Ad esempio per valutare l'inquinamento dovuto al traffico urbano occorre conoscere con un certo dettaglio il flusso del traffico nella rete viaria diviso per tipologie di veicoli (automobili, mezzi pesanti, veicoli catalizzati e no ecc.). La topografia urbana influenza in maniera determinante i fenomeni dispersivi delle sostanze inquinanti.

I processi di urbanizzazione producono radicali cambiamenti nelle proprietà atmosferiche e di superficie di una regione. Questi riguardano la trasformazione delle proprietà radiative e termiche, delle caratteristiche aerodinamiche e di umidità. Per esempio i materiali da costruzione aumentano la capacità termica del sistema e rendono la superficie più impermeabile. La geometria delle costruzioni produce una riflettività dando vita a un intrappolamento della radiazione solare. Il calore e l'acqua prodotti dalle attività umane si aggiungono alle sorgenti naturali di calore e acqua del sistema urbano. Il risultato è che durante il giorno l'area urbana immagazzina più calore dei suoi dintorni e quindi durante la notte, specie con condizioni di vento debole, l'aria della città diviene più calda di quella dei sobborghi rurali. Tutto ciò dà origine alla ben nota isola di calore: l'aria sovrastante la città ha una temperatura superiore a quella dei sobborghi rurali, con una temperatura massima al centro della città stessa. L'isola di calore ha un'influenza diretta sulle capacità diffusive dell'atmosfera e quindi di diluizione degli inquinanti.

La struttura urbana esercita un'influenza importante anche sul campo del vento la cui velocità in generale viene rallentata per effetto dell'attrito prodotto dalla superficie (gli edifici di un'area urbana oppongono una resistenza maggiore al flusso del vento rispetto alle aree rurali), mentre la struttura viaria ne forza la direzione.

A tutt'oggi si incontrano notevoli difficoltà nella descrizione con modelli matematici della dispersione di inquinanti in atmosfera in ambiente urbano. Il motivo fondamentale risiede nella complessità della configurazione topografica dell'ambiente urbano, comprensivo di strade fiancheggiate da edifici, di piazze in cui confluiscono più strade, di aree verdi, di grosse direttrici di traffico e di zone con traffico diffuso. S'aggiungono poi complessità naturali dovute al dispiegarsi del tessuto urbano in una zona collinare o montuosa oppure costiera. Sono stati condotti numerosi studi sulla fenomenologia della diffusione in area urbana. Molti di questi studi hanno evidenziato alcune regolarità dell'interazione tra campo del vento indisturbato e la microtopografia e hanno, quindi, schematizzato tali regolarità in modelli operativi di tipo semiempirico, definiti con parametri fenomenologici che dipendono dalla specifica situazione esaminata.

Uno di tali modelli operativi che descrivono la dispersione degli inquinanti (monossido di carbonio e ossidi di azoto) in ambiente urbano è il modello ITALAPRAC, versione italiana del modello APRAC III dell'*United State Environmental Protection Agency.* Il modello ITALAPRAC è una revisione indirizzata al parco macchine italiano del modello APRAC III che conteneva un modulo per la valutazione delle emissioni da traffico autoveicolare relativamente alle caratteristiche del parco macchine statunitense. Il modello ITALAPRAC è stato utilizzato con successo all'area urbana di Milano ed è in avanzato stato di realizzazione la sua applicazione all'area urbana di Bologna.

## 2 Sostanze inquinanti

Immaginiamo una zona urbana fortemente inquinata: che cosa c'è in quell'aria? Polvere (o meglio: *particelle sospese*), fumo (o meglio: *gas*) e puzza (o meglio: *odori*). Queste sono appunto le tre categorie principali in cui vengono suddivisi gli inquinanti atmosferici.

Le *particelle sospese* si classificano per dimensioni (che vanno da 0,001 micrometri a qualche decimo di millimetro) e densità, e vengono distinte in nuclei, fumi, polveri, brume, caligini, nebbie ecc. Quanto alla loro produzione, bruciando combustibili convenzionali si ottengono particelle carboniose, polveri di piombo e dei suoi composti, sostanze catramose, ceneri volanti, silice ecc. Altri inquinanti, osservabili sempre sotto forma di particelle sospese, ma di origine diversa, sono l'acido solforico e l'amianto.

Poi i *gas:* si descrivono in termini di composizione chimica, di concentrazione e di soglia di percezione dell'odore (!). A volte i gas si vedono: la coltre brunastra che sovrasta una città, vista da lontano, ovvero il colorito violaceo del cielo metropolitano notturno sono dovuti in gran parte agli ossidi di azoto. Il fumo azzurrino che esce dai tubi di scarico è formato da composti organici volatili (benzene, idrocarburi policiclici) emessi dai motori a benzina in condizioni di cattiva combustione. Invisibili sono invece il biossido di carbonio (che cattura il calore e favorisce la formazione di una cappa soffocante, dando luogo all'«effetto serra»), e il monossido di carbonio (tossico, ancorché incolore e inodore) che si forma dalla combustione incompleta per difetto di ossigeno (per esempio a partire da una carburazione troppo «ricca»).

Un gas che non si vede, ma si sente (per il gusto e l'odore pungente) è il biossido di zolfo, scelto dall'OMS quale parametro rivelatore della qualità dell'aria; negli ultimi anni se ne è osservata la riduzione grazie alla sostituzione degli impianti di riscaldamento a gasolio con quelli a metano.

Per finire, gli *odori:* sono gas o vapori che, anche se presenti nell'aria in minime quantità, provocano disturbi e denunciano la presenza di sostanze potenzialmente nocive. Generalmente si tratta di inquinanti di origine industriale, che vengono classificati secondo l'industria di provenienza.

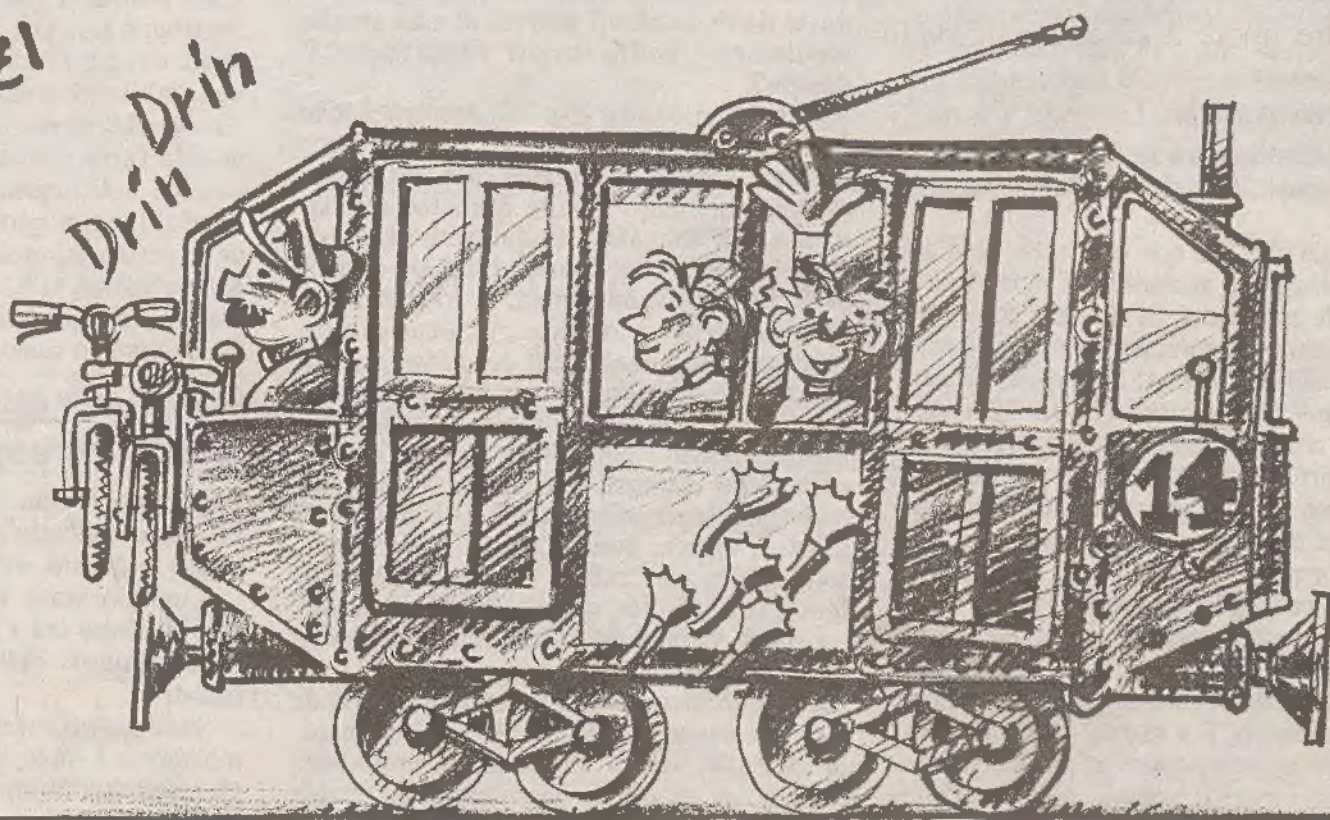
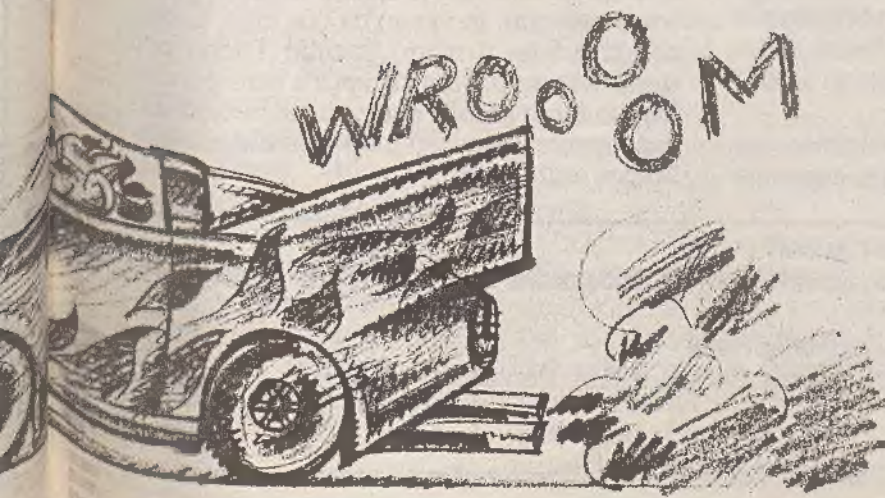
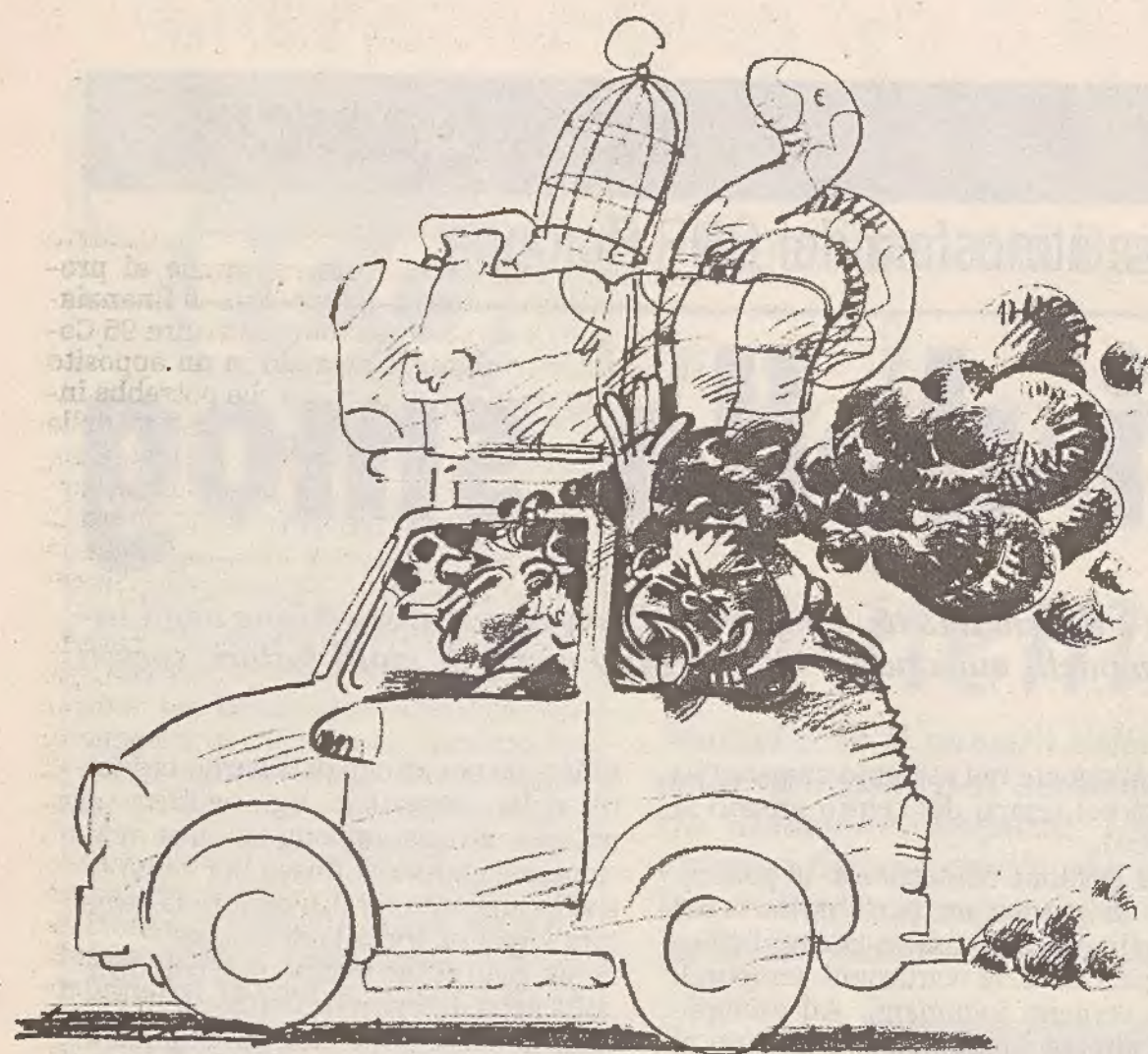
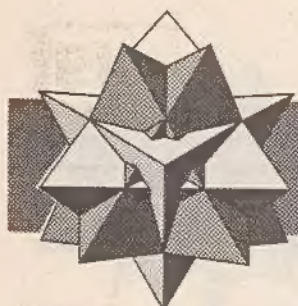
## 3 Effetti delle sostanze inquinanti

Tra gli inquinanti atmosferici più diffusi, ci sono anzitutto gli ossidi di zolfo e gli ossidi di azoto, agenti tossici e fortemente ossidanti, che fra l'altro tendono a trasformarsi in acidi (p. es. l'acido nitrico, che attacca la vegetazione ma anche i nostri polmoni).

A volte la nube tossica non rimane tal quale nell'atmosfera, ma per effetto delle radiazioni solari, d'estate può trasformarsi in un micidiale miscuglio di sostanze aggressive (aldeidi, perossidi, chetoni, alcoli, perossiacilnitrati) che, in dosi anche minime, provocano disturbi acuti (bruciore agli occhi, irritazione delle vie respiratorie). L'effetto irritante di questo «smog fotochimico» è potenziato dalla compresenza di biossido di zolfo e di particolato.

Sempre riguardo alle particelle sospese, uno studio dell'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro dell'OMS rileva che le emissioni di scarico dei motori diesel sono probabilmente cancerogene per l'uomo. Le particelle di fuliggine emesse dagli scarichi dei motori diesel, penetrano a fondo nei polmoni e portano con sé (v. foto a p. 1) sostanze di ogni genere.

Neppure la benzina (neanche quella verde) è poi così sana (tanto più che il parco macchine italiano, ancora poco catalizzato e fra i più vetusti d'Europa, emette, in proporzione, nove volte più idrocarburi di quello statunitense): infatti un'automobile di 4-5 anni produce, per ogni chilometro di strada, oltre a 3-4 grammi di monossido di carbonio e a 2 grammi di ossidi di azoto, 1 grammo di composti organici volatili (tra cui benzene, aldeidi, idrocarburi aromatici policiclici). Un recente studio della Commissione consultiva tossicologica nazionale ha denunciato la cancerogenicità sia del benzene (a cui sarebbero imputabili da 3 a 50 casi di leucemia su 1000), sia degli idrocarburi policiclici aromatici (ne basta un nanogrammo per metro cubo per indurre 9 casi in più di tumore al polmone su 100 000 individui esposti: a Milano la media settimanale è di 60-70 nanogrammi per metro cubo).

E il monossido di carbonio? Questo gas tossico, incolore e inodore, quando viene respirato si lega all'emoglobina del sangue 210 volte più facilmente dell'ossigeno; l'emoglobina così combinata (carbossiemoglobina) non può ossigenare adeguatamente i tessuti, e provoca rallentamento dei tempi di reazione, cefalee, indebolimento (bastano 2-3% di carbossiemoglobina, in presenza di 37 microgrammi per metro cubo d'aria); l'intossicazione acuta può portare all'asfissia e alla morte. Questa sindrome ha un nome: si chiama ossicarbonismo e colpisce autisti, vigili urbani e garagisti. Il rischio aumenta per i fumatori, che hanno già in partenza una certa percentuale della loro emoglobina legata al monossido di carbonio delle sigarette fumate.

**AUGUSTA BATTISTINI**
Direttore del Centro di Fisiopatologia respiratoria infantile, Università di Parma

# ARIA CAPTIVA

***I crescenti livelli di inquinamento atmosferico a cui i nostri corpi sono sottoposti tutti i giorni stanno facendo preoccupantemente aumentare il numero delle patologie respiratorie. Dato che i primi a soffrire di questa situazione sono i nostri figli, sarebbe auspicabile che la politica sanitaria seguita dalle organizzazioni sanitarie nazionali e internazionali fosse (come purtroppo non è) all'insegna di una grande prudenza.***

In tutti i paesi industrializzati gli ultimi trenta-quarant'anni sono stati caratterizzati da un drammatico aumento delle malattie respiratorie. Un esempio è l'asma dei bambini, la cui incidenza è passata da un 5% intorno agli anni sessanta a un 10-15% all'inizio degli anni novanta. E non si tratta soltanto di un aumento di forme banali di asma, perché contemporaneamente raddoppiano o triplicano le ospedalizzazioni, tanto che questa malattia diventa la principale causa di ricovero in alcuni grandi ospedali statunitensi. Che tale aumento fosse da imputare almeno in parte all'inquinamento atmosferico, venne dapprima suggerito da alcuni episodi cosiddetti storici. Nel 1930 un improvviso aumento di mortalità per patologia respiratoria nella valle della Meuse, in Belgio, viene ricondotto a un repentino peggioramento dell'inquinamento di origine industriale dovuto almeno in parte ad avverse condizioni meteorologiche. Da allora non solo altri episodi di inquinamento acuto diventati famosi, come quello della Pennsylvania del 1948 e quello di Londra del 1952, ma anche numerosi studi comparativi fra diverse popolazioni dimostrano la connessione tra inquinamento e malattie respiratorie. La conferma che l'urbanizzazione, e quindi l'inquinamento dell'aria, aumenta i problemi respiratori viene anche dalle migrazioni per motivi socioeconomici o per calamità naturale (come i terremoti) nelle isole del Pacifico.

Con l'affinarsi delle indagini si arriva addirittura a individuare un rapporto fra tipo di inquinamento e tipo di patologia respiratoria. Il caso delle due Germanie è esemplare: nella Germania occidentale, dove prevale l'inquinamento da autoveicoli, sono soprattutto frequenti le malattie allergiche; mentre nella Germania orientale, dove è maggiore l'inquinamento industriale, aumentano soprattutto i pazienti con bronchiti. Non vi sono invece sostanziali differenze fra le due Germanie, e quindi fra i due tipi di inquinamento, per quanto riguarda l'incidenza di asma.

Il salto di qualità in questo tipo di ricerche avviene quando si comincia a misurare il tasso di inquinamento dei diversi gas nella realtà quotidiana. In questo modo diventa infatti possibile individuare delle soglie al di sopra delle quali cominciano i problemi respiratori, diventa in altri termini possibile passare dal riconoscimento del problema all'intervento sul problema stesso. Col progredire delle ricerche ci si rende così conto che per il biossido di azoto ($NO_2$), espressione dell'inquinamento da traffico automobilistico, sono sufficienti concentrazioni molto basse dell'ordine dei 20-30 microgrammi per metro cubo (1 microgrammo è un milionesimo di grammo) per far aumentare le bronchiti, i raffreddori e le otiti nel bambino. Questi risultati si scontrano però con quelli già in precedenza ottenuti in laboratorio (dove gli animali da esperimento vengono sottoposti a situazioni estreme di inquinamento) e che sono quelli a cui, ahimé, si attengono le organizzazioni internazionali per la salute. È ovvio che in queste condizioni la concentrazione di biossido di azoto che porta a disturbi acuti è molto più elevata e dell'ordine dei 200-400 microgrammi per metro cubo.

Poiché dietro a tutto questo ci sono enormi interessi economici e difficoltà organizzative, le proposte che vengono avanzate per la soluzione del problema sono molto varie a seconda dei paesi: attenendosi alle ultime ricerche epidemiologiche alcuni paesi all'avanguardia, come l'Olanda e la Svizzera, fissano dei limiti pari alla metà o a un terzo rispetto a quelli vecchi suggeriti dalle grandi organizzazioni internazionali come l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e le Commissioni delle Comunità Europee (CEC). Succede allora che in città come Parma, non certo definibile una metropoli, venga ripetutamente superata d'inverno la soglia di sicurezza svizzera degli 80 microgrammi per metro cubo di biossido di azoto per ventiquattro ore, mentre autorità competenti e popolazione vivono serene e tranquille, in quanto non vengono raggiunte le soglie adottate in Italia che sono quelle della CEC e quindi fra le più alte.

Quanto detto per il biossido di azoto può valere anche per l'ozono ($O_3$), un altro inquinante espressione del traffico autoveicolare e che dal primo si forma per azione dei raggi solari. A questo proposito è significativa la presa di posizione dell'Accademia dei Pediatri Americani:«Lo standard federale di $O_3$ stabilito in 240 microgrammi per metro cubo (media di 1 ora) ha un margine di sicurezza modesto o nullo per i bambini impegnati in attività all'aria aperta. Si raccomanda perciò di considerare la possibilità di abbassarlo». A fronte di questi nuovi indirizzi è a dir poco sorprendente come in Italia, proprio nel maggio del 1994, invece di proporre una riduzione dei limiti di sicurezza, si aumenti sia il livello di attenzione sia quello di allarme dell'$O_3$ arrivando con quest'ultimo al triplo di quello svizzero.

Il fatto però che la concentrazione di $O_3$ non dipenda solo dalle fonti di inquinamento, ma anche da estemporanee situazioni climatico-ambientali, fa sì che il controllo di questo inquinante debba estendersi al di fuori delle sedi più facilmente incriminabili, quali le città. A favore di questo indirizzo vi è l'osservazione che nel Tirolo austriaco le più alte concentrazioni di $O_3$ si osservano in alta montagna (e cioè lontano da fonti inquinanti come fabbriche e autostrade), e che proprio in queste zone si è avuto il maggior aumento di asma infantile.

Accanto ai problemi dell'inquinamento atmosferico, cui contribuiscono oltre al traffico automobilistico anche quello industriale e di cui non parliamo per motivi di spazio, vi è anche quello, altrettanto importante, dell'inquinamento intradomiciliare. A questo proposito basti pensare che il bambino passa in media tre quarti del proprio tempo nella propria abitazione. In questo ambito vi è senz'altro al primo posto il fumo di sigaretta dei conviventi, ma altre fonti inquinanti più subdole, come i fornelli per cucinare e soprattutto le caldaie per riscaldamento, possono determinare un aumento e un aggravamento delle malattie respiratorie in particolare del bambino.

Una ricerca da noi eseguita a Parma ci ha permesso di dimostrare che nelle cucine in cui è installata la caldaia del termosifone si raggiungono valori medi ben superiori alle soglie di sicurezza, e che nelle abitazioni con stufe a gas si arriva a concentrazioni esorbitanti pari a quelle che farebbero addirittura bloccare il traffico persino nelle nostre città. Un altro dato interessante è che nei paesi e in campagna le cucine sono più inquinate che in città. Questo è dovuto senz'altro a un maggior uso, nelle zone extraurbane, di stufe a gas o a legna e alla maggior vetustà delle caldaie; inoltre in questo modo si giustifica, almeno in parte, l'aumentata incidenza di asma anche in zone senza rilevanti fonti di inquinamento esterno.

Al problema delle malattie respiratorie va infine aggiunto quello dell'inquinamento come fattore che favorisce le allergizzazioni: in Giappone ad esempio la rinocongiutivite primaverile da polline di cedro è paradossalmente molto più frequente nella popolazione che vive vicino a grandi autostrade non alberate che non nella popolazione che vive nelle foreste di cedro.

Le recenti acquisizioni in campo di inquinamento dimostrano l'enormità di un problema che sta per sfuggirci di mano non solo e non tanto perché non vengono presi i necessari provvedimenti, ma soprattutto perché il singolo individuo non si rende ancora conto che è lui in primo luogo il produttore di inquinanti e che se non modifica il proprio comportamento di vita sarà lui e saranno soprattutto i suoi figli ad andarci di mezzo.

**FRANCO STRAVISI**
Dipartimento di Fisica Teorica, Università di Trieste

# Che aria tira a Trieste

***Le peculiarità climatologiche della nostra città ne fanno un ambiente particolarmente imprevedibile. Dato che i fattori climatici influenzano fortemente il grado dell'inquinamento, sarebbe necessario coordinare i dati meteorologici con quelli chimico fisici in modo da prevenire le situazioni più pericolose.***

**L'importanza della meteorologia.** La meteorologia e la climatologia sono le scienze che offrono il quadro fisico corretto nel quale collocare i fenomeni relativi al trasporto, alla dispersione o alla concentrazione degli agenti cosiddetti inquinanti nell'atmosfera.

La meteorologia si occupa in particolare di descrivere lo stato dell'atmosfera e il suo movimento. Lo stato dell'atmosfera è caratterizzato da tre parametri fondamentali: pressione atmosferica, temperatura dell'aria e umidità relativa. Questi parametri determinano la densità dell'aria; dalle variazioni della densità con l'altezza dipende la possibilità che ha l'aria stessa di innalzarsi o di restare confinata al suolo con il suo contenuto. La meteorologia inoltre misura il campo di velocità dell'aria (il vento), dal quale dipende il trasporto orizzontale di gas, fumi e polveri. I parametri di stato e il vento sono tra loro legati dalle leggi che regolano la dinamica dell'atmosfera terrestre, e che, opportunamente tradotte in equazioni risolvibili da un moderno e veloce elaboratore elettronico, permettono di calcolare la situazione che si determinerà nel futuro (sino ad alcuni giorni) a partire da una situazione osservata. In altre parole, in base alle osservazioni fornite da una rete internazionale di stazioni meteorologiche, è possibile prevedere, mediante il calcolo, l'evoluzione del tempo; esempi di tale procedura ci sono presentati quotidianamente da tutte le reti televisive.

Altre informazioni importanti ai fini della previsione del tempo e della dispersione degli inquinanti provengono dalle misure della radiazione solare e delle precipitazioni. L'energia che arriva sulla Terra con la radiazione solare, assorbita dal suolo e dal mare, riscalda l'atmosfera per contatto ed entra quindi nel gioco della dinamica. Le precipitazioni (pioggia, neve, grandine) dilavano l'aria facendo depositare al suolo le particelle che vi sono sospese.

**Le stazioni meteorologiche.** I meteorologi effettuano le loro misure strumentali e le osservazioni in siti scelti per la loro particolare rappresentatività del territorio: le stazioni meteorologiche. La sezione di Oceanografia e Meteorologia dell'Istituto di Geodesia e Geofisica dell'Università di Trieste gestisce per esempio la stazione meteorologica denominata *Trieste - ITN*, in collaborazione con l'Istituto Tecnico Nautico. Questa stazione, situata nello stesso luogo dove sono iniziate, ai primi dell'Ottocento, le osservazioni meteorologiche, è fondamentale per lo studio della climatologia della città.

**Il clima di Trieste.** Il clima di Trieste è dunque descritto dall'analisi statistica dei dati meteorologici raccolti durante quasi due secoli. L'influsso della particolare collocazione geografica della città è evidente. Trieste si trova infatti al confine tra la parte più settentrionale del bacino Mediterraneo, rappresentato dal mare Adriatico, e il continente europeo. Si trova inoltre al margine orientale della catena alpina e ai piedi dell'altipiano Carsico. Grazie al calore portato dal mare la temperatura dell'aria presenta un valore medio annuale (14,5°C) elevato per la sua latidudine ed escursioni termiche giornaliere ridotte.

Il regime dei venti è inoltre particolare. Oltre alle brezze locali, provenienti dal mare (da Ovest Nord Ovest) durante il giorno e da terra (da Est Sud Est) durante la notte, Trieste è attraversata da correnti aeree provenienti dal bacino Adriatico (scirocco, da Sud Sud Est) e dal continente (la bora, da Est Nod Est). La bora è di gran lunga il vento dominante, sia per la sua frequenza (spira in media per il 21% del tempo, ossia per 1830 ore all'anno) che per la sua intensità. Il percorso della bora in un anno è mediamente pari a 40 000 chilometri, ovvero alla lunghezza dell'equatore terrestre. La bora può essere paragonata a un fiume d'aria, che scende tumultuoso dall'altipiano verso la città e il Golfo di Trieste con rapide e mulinelli vorticosi. La turbolenza della bora è ben nota a Trieste: la velocità di questo vento varia rapidamente, toccando qua e là raffiche di intensità estremamente variabile che possono occasionalmente raggiungere e superare, nei luoghi più esposti, i 160 chilometri all'ora. La durata della bora è variata nel corso del tempo; in questo secolo si è presentata con grande frequenza negli anni cinquanta, ha toccato un minimo negli anni settanta e ottanta, per poi riprendere nel corso degli anni più recenti.

L'altezza annuale della pioggia è di circa un metro, con forti variazioni da un anno all'altro; le precipitazioni più abbondanti si manifestano durante l'autunno e nel mese di giugno. Sull'altipiano carsico la pioggia è più abbondante di circa il 20%.

**I microclimi urbani.** Pensando alle differenze di altezza, distanza dal mare, insolazione e orografia tra la parte bassa, marittima di Trieste e le sue vallate periferiche, e tra queste e il Carso, risulta evidente che i parametri meteorologici (temperatura, velocità e direzione del vento in primo luogo), presentano sul territorio una variabilità molto maggiore di quella che si può avere, per esempio, in una città di pianura. Tali differenze sono molto evidenti in alcune situazioni particolari di tempo, quando per esempio la città è immersa nelle nebbia proveniente dal mare mentre sul Carso splende il sole, e si forma un'inversione termica che impedisce il mescolamento verticale dell'aria. Oppure, più frequentemente, quando spira la brezza di mare, che raggiunge fresca e umida le rive cittadine, per poi uscire dalla città resa più calda e secca dal contatto con il suolo urbano e con i tetti delle case. La città stessa, con i suoi edifici e le sue strade, forma una moltitudine di microclimi particolari che interagiscono con le condizioni climatiche generali.

In questa ottica, è evidente che una conoscenza accurata della circolazione dell'aria e delle sue caratteristiche termoigrometriche nella città, anche se possibile, è quanto meno difficile da realizzare sul piano operativo, in quanto comporterebbe l'uso di moltissimi strumenti. Le cose si complicano ulteriormente quando si deve affrontare il problema dell'inquinamento urbano, vista la necessità di conoscere, oltre ai parametri meteorologici, le concentrazioni estremamente variabili di polveri e gas diversi; il che richiede, tra l'altro, tecniche di misura più delicate e costose.

Concludendo, possiamo dire che un controllo del microclima e dell'inquinamento urbano, corretto dal punto di vista scientifico e adeguato dal punto di vista operativo, può essere assicurato alla collettività solamente con un grosso impegno congiunto e continuo di istituzioni e di esperti nel campo della meteorologia, della chimica e della fisica sanitaria, e con la necessaria disponibilità di fondi e di personale.

# LA TELEMATICA PER L'AMBIENTE

## *area "Environment" e progetto scuole*

Visto il grande successo dell'espermento dello scorso anno (vedi il numero 17, maggio 1994, dell'«Immaginario Scientifico Notizie»), anche quest'anno il LIS promuove e organizza un progetto di collegamento telematico tra scuole, tramite il sistema di BBS in funzione ormai da più di un anno. Una decina di istituti superiori distribuiti su tutto il territorio nazionale, coordinati dagli esperti del LIS, lavoreranno collegati via modem a uno studio comparativo sull'inquinamento atmosferico nelle varie città. I risultati saranno presentati durante la Settimana della Cultura Scientifica (3-8 aprile prossimi).

Ricordiamo che chi volesse collegarsi al sistema informativo del LIS e quindi entrare nel mondo della telematica nazionale e internazionale, può farlo liberamente collegandosi con un modem e un computer al numero: 040-398091. Tra tutte le informazioni disponibili è anche presente un'area *Environment* dedicata interamente alle problematiche ambientali.

Inoltre il LIS ha un server su Internet all'indirizzo: http://140.105.113.51.

Chi vuole scriverci può usare la posta elettronica: IMMAGI@AREA.TRIESTE.IT.

# DALLE PAGINE PRECEDENTI

*Continua dalla pagina 1*

## Nozze chimiche nell'aria

sostanze inquinanti (è noto che sottovento a grandi zone industriali la situazione dell'aria è molto peggiore che sopravvento), ma in genere non trasporta masse d'aria inquinata proveniente da molto lontano. È vero anche, però, che le particelle piuttosto piccole, quelle che contengono i metalli pesanti, hanno un tempo di vita media molto elevato e possono arrivare dappertutto. Ma non in grandi quantità.

**C'è una relazione tra le dimensioni degli oggetti sospesi nell'aria e la loro vita media?**

La relazione c'è, ma non è lineare. Nell'atmosfera viaggiano particelle di una decina di ordini di grandezza. Si va dalle molecole di gas (0,0005 micrometri, 1 micrometro è un milionesimo di metro) ai granelli di sabbia e alle gocce di pioggia (fino a 5000 micrometri), comprendendo oggetti così diversi come virus, batteri, polveri, pollini ecc. Le molecole sono in genere molto poco stabili, perché tendono a trasformarsi o ad aggregarsi formando particelle più grandi. Ma neanche le particelle più grandi vivono molto a lungo, perché tendono a depositarsi al suolo per gravità. Quelle che durano di più sono le particelle di media grandezza, attorno al micrometro. È a questa classe dimensionale che appartengono le particelle che contengono i metalli pesanti, o le particelle che contengono molecole organiche inquinanti come diossine o pesticidi. Queste hanno una vita media relativamente lunga e si trovano, sia pur solo in tracce, anche in posti molto lontani dalle fonti di inquinamento. Perfino in Antartide.

**Il problema quindi per ora si pone urgentemente solo in prossimità delle fonti. Si possono definire delle distanze di sicurezza? Per esempio, quanto bisogna allontanarsi dalle corsie di marcia di una strada mediamente trafficata per risparmiarsi il peggio?**

È difficile dare una risposta precisa, anche caso per caso. Quello che si può dire è che esistono fondamentalmente due tipi di sostanze inquinanti. Quelle immesse direttamente nell'atmosfera (inquinanti detti *primari*) e quelle che, come il biossido di azoto di cui parlavamo prima, si formano nell'atmosfera per le reazioni chimiche di altre sostanze (inquinanti detti *secondari*). Dato che queste reazioni hanno tempi relativamente lunghi, la concentrazione degli inquinanti secondari è abbastanza costante col variare delle distanze (ha, come si dice, un basso gradiente orizzontale). Gli inquinanti primari, invece, come l'ossido di carbonio, sono molto concentrati in prossimità delle fonti. Quindi, per questi ultimi, alzarsi o spostarsi di qualche metro può fare molta differenza. Per vedere, invece, scendere sensibilmente la concentrazione degli altri, di metri ne occorrono decine, se non centinaia. In generale, vicino alle fonti di emissione, si possono temere gli inquinanti che danno prevalentemente effetti acuti. Gli altri inquinanti che, come il biossido di azoto, provocano progressivi e cronici deterioramenti delle vie respiratorie, sono invece diffusi in tutto l'ambiente urbano e per evitarli bisogna allontanarsi notevolmente dalle fonti di emissione.

**C'è qualche possibilità che gli inquinanti immessi nell'atmosfera si disperdano prima o poi nello spazio?**

Purtroppo no. Tra la troposfera e la stratosfera, circa a 17 chilometri sopra di noi, c'è una stabile inversione termica (detta *tropopausa*) che forma come un involucro attorno alla Terra. Questo guscio d'aria calda impedisce agli inquinanti di disperdersi nello spazio. D'altra parte, dato che i movimenti delle sostanze inquinanti sono legati a quelli delle masse d'aria, se esistesse un meccanismo per la fuoriuscita degli inquinanti resteremmo presto senz'aria da respirare.

*Continua dalla pagina 1*

## Il vizio di respirare

scopicamente, perché il tumore, come dicevo, è una malattia multifattoriale che ha bisogno di questo accumulo di cause.

**Come è stata dimostrata, dunque, la correlazione tra l'inalazione delle sostanze inquinanti dell'aria e l'insorgere dei tumori?**

Studiare gli effetti dell'inquinamento atmosferico è molto più difficile che studiare gli effetti del fumo, perché mentre i fumatori sono un gruppo ristretto di persone (che si suddivide in sottogruppi secondo la quantità e la qualità di fumo inalato), all'inquinamento atmosferico è esposta tutta la popolazione. Comunque, negli USA sono stati fatti con molta serietà e rigore studi epidemiologici che hanno seguito durante decenni numerosi gruppi di persone in varie città. Si sono confrontati i livelli di inquinamento e l'incidenza dei tumori nei gruppi campione, tenendo presente i livelli sia di esposizione occupazionale sia di esposizione al fumo (attivo e passivo) di ciascun individuo, in modo da discriminare il maggior numero di fattori. Ne è risultata una evidente correlazione tra inquinamento atmosferico e cancro, perché l'incidenza di tumori era maggiore non solo nelle città più inquinate ma addirittura per quei gruppi che passavano più parte del tempo nelle zone più inquinate di una stessa città.

**La dualità fumo/inquinamento atmosferico corrisponde in qualche modo a quella tra inquinamento *indoor* e *outdoor*, cioè tra inquinamento dentro e fuori casa. Aria inquinata/aria viziata. Oltre al tabacco, nell'aria delle abitazioni e dei luoghi di lavoro quali altre sostanze sono state riconosciute come cancerogene?**

Effettivamente, oggigiorno, la gente passa più tempo *indoor* che *outdoor*, e l'aria che si respira all'interno degli edifici sarebbe da sorvegliare anche più di quella che si respira fuori. E alle sostanze cancerogene che vengono dal di fuori si aggiungono altre sostanze cancerogene che vengono immesse dall'interno e che, se non si provvede a un adeguato ricambio d'aria, possono raggiungere concentrazioni pericolose. Tra queste sostanze, oltre al fumo di tabacco, che è senz'altro la più dannosa (eppure si vedono ancora genitori che fumano in presenza dei loro figli non solo a casa, ma addirittura in macchina, dove il fumo concentrato in un volume d'aria minimo si addiziona ad altre sostanze cancerogene come il benzene), ci sono sicuramente anche l'amianto – presente in molti materiali da costruzione e in molti prodotti di uso domestico – e il radon, un gas radioattivo che sale dalle rocce (soprattutto laviche). Inoltre sono state riconosciute come cancerogene le colle contenenti formaldeide (colle usate soprattutto per la produzione di compensati tipo la fòrmica) e quelle contenenti cloruro di vinile. Il cloruro di vinile, che non è pericoloso come polimero (PVC), lo diventa molto però quando viene bruciato e ridotto in monomeri. Cosa che avviene, per esempio, in caso di incendio.

**Ma un tumore può essere causato anche da una singola volta che ci si espone a una grande dose di una sostanza cancerogena?**

Questa è una domanda a cui non si può rispondere. Da una parte, come dicono i francesi, *une fois n'est pas côtume* («una volta non fa costume»). D'altra parte purtroppo, però, è raro che nella storia di un individuo ci siano delle «volte» assolutamente uniche. Di solito c'è una *prima* volta, a cui poi se ne aggiungono delle altre. Quindi, se si può evitare di respirare una di queste sostanze...

**Per quanto riguarda la vita pubblica, ci sono dei particolari consigli da dare alle nostre amministrazioni?**

Nessuna proposta originale. Ridurre il traffico su gomma, favorire il trasporto pubblico: esistono i tram, i treni, le metropolitane. Non invento niente. A Trieste c'erano i tram, li hanno tolti. A Roma non hanno fatto l'anello circolare; l'hanno iniziato, poi si sono interrotti. Io vengo da una città, Lione, che si è fatta il metrò, mentre Torino non riesce a farselo. Non si capisce bene perché. Torino è più grande e non meno ricca di Lione, eppure, invece di metrò, continua a fabbricare automobili.

**Editore:** Società Editoriale per azioni
**Stampato presso:** O.T.E via Guido Reni 1. Pubblicazione registrata al Tribunale di Trieste, n. 773 del 24-1-1990
**Direttore responsabile:** Margherita Hack
**In redazione:** Piero Budinich, Simona Cerrato, Ettore Panizon
**Grafica:** Giovanna Maiani
**Disegni:** Giuliano Comelli
**Hanno collaborato:** Aura Bernardi, Fabio Raimo, Riccardo Ravalli